

⑩ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A)

昭61-223582

⑬ Int.Cl.⁴
G 21 C 3/30

識別記号 庁内整理番号
D-7808-2G

⑭ 公開 昭和61年(1986)10月4日

審査請求 未請求 発明の数 3 (全9頁)

⑮ 発明の名称 原子炉用燃料集合体

⑯ 特 願 昭60-63657

⑰ 出 願 昭60(1985)3月29日

⑱ 発 明 者 大 橋 正 久 日立市幸町3丁目1番1号 株式会社日立製作所日立工場内

⑲ 発 明 者 平 尾 誠 造 日立市幸町3丁目1番1号 株式会社日立製作所日立工場内

⑳ 発 明 者 升 岡 龍 三 日立市幸町3丁目1番1号 株式会社日立製作所日立工場内

㉑ 出 願 人 株式会社日立製作所 東京都千代田区神田駿河台4丁目6番地

㉒ 代 理 人 弁理士 小川 勝男 外2名

明 細 書

発明の名称 原子炉用燃料集合体

特許請求の範囲

1. 燃料物質を内蔵した複数の燃料棒から構成された原子炉燃料集合体において、上記燃料集合体を半径方向に複数の領域層に分割した際に形成される中性子高密度領域層へ他層にくらべて小径な燃料棒を一様に配置したことを特徴とした原子炉用燃料集合体。

2. 特許請求の範囲の第1項において、前記原子炉用燃料集合体は、その中心領域に複数の中心支持棒を配置して成ることを特徴とした原子炉用燃料集合体。

3. 特許請求の範囲の第1項において、前記原子炉用燃料集合体は、その中心領域に燃料棒よりも太径の中空円筒物を備え、前記円筒物の上部と下部とにおいて冷却材の出入口を備えることを特徴とした燃料集合体。

4. 燃料物質を内蔵した複数の燃料棒を集合して構成した燃料集合体の外側に十字形の制御棒を備

えた沸騰水形原子炉において、前記燃料集合体を成す外周領域層に内側領域層の燃料棒よりも小径な燃料棒を配置し、前記十字形の制御棒の中心に近接する位置の制御棒近接燃料棒を前記燃料集合体を成す最小径な燃料棒としたことを特徴とした燃料集合体。

5. 燃料物質を内蔵した複数の燃料棒を集合して構成した燃料集合体中に制御棒を含む複数の制御棒案内管を備えた加圧水形原子炉において、前記燃料棒はすくなくとも大径と小径との2種類有り、前記小径燃料棒を前記燃料集合体を成す外周領域層と前記制御棒案内管に最も近接した位置とに配置してあることを特徴とした燃料集合体。

発明の詳細な説明

〔発明の利用分野〕

本発明は、原子炉の燃料集合体に関するものである。

〔発明の背景〕

従来、原子炉の燃料集合体は、局所出力を平坦化する手法として、中性子密度の低い領域の燃料

濃縮度を中性子密度の高い領域よりも高くする方法が知られていた。

即ち、最近の軽水炉ないしは重水炉では発電量を増すために運転サイクルを12ヶ月から15ヶ月に長期化し設備利用率を向上させている。このためには燃料のウラン濃縮度を増大させる必要があり、結果として炉心内の核分裂性物質濃度分布が著しく非均質となり、熱中性子束が炉心内、及び燃料集合体内で差が拡大している。従来はこの中性子束の変化に対し、燃料の局所出力を平均化し、炉心内の局所出力最大値をできる限り低減する方法として、中性子束の高い領域の燃料の濃縮度を中性子束の低い領域の燃料の濃縮度よりも低くする方法が用いられていた。しかし前記したように運転サイクルを長期化するために燃料濃縮度を増大した結果中性子束の変化が著しくなり、局所最大出力の上昇を防ぐためには前記濃縮度差を非常に大きくする必要が生じている。例えば沸騰水形原子炉の燃料集合体の外周部の燃料濃縮度は中央部の半分程度にする場合がある。また新型軽

水炉のような重水炉でも1年以上の長期運転サイクルとするためには圧力管内に装荷する周心円状の燃料集合体において最外層の燃料棒の濃縮度は中央部の半分程度にし、集合体内の燃料棒当りの出力を平均化する必要がある。これらの結果として、出力を平坦化するために核分裂に寄与する中性子束の高い領域には核分裂性物質を平均以下の濃度しか配置できないことになり核分裂性物質を有効に燃焼できない現象となつている。

上記問題点を解決する具体的な方法として最近軽水炉で考えられている方法は燃料棒の径を細くして1本当りの出力を低減させることにより燃料の濃度を下げ、同時に中性子束の高い領域に核分裂物質をより多く配置することが考えられている。しかし燃料棒径を細くするだけでは燃料棒本数が増えること及び細径になり複雑化するため燃料製造が複雑になると共に被覆管等の燃料物質外の体積率が増え中性子のむだな吸収体が増えるという問題がある。

一方、燃料集合体中で異なる径の燃料棒を用い

る考えは、特開昭53-40187号公報にて公知である。この公知例では、圧力管型原子炉の圧力管内に燃料棒を三角格子状ないしは四角格子状に燃料棒を配置して部分的に発生した圧力管内面と外層燃料棒との間の空間に小径な燃料棒を装荷するものである。この為、高中性子領域に相当する最外層燃料配置領域内に太径と小径との燃料が混在することになる。したがって、このような燃料配置では、局所出力の平坦化は困難である。

又、出力平坦化の為の手法として、米国特許第3132076号で示されているものがある。ここで示されているものは、沸騰軽水型原子炉の燃料集合体において、四角格子状に配置された燃料棒の中で部分的に燃料棒を削除する代わりに四角柱状あるいは四角スリット状に軽水分離領域を設け、軽水対燃料比を大きくすることにより出力分布の平坦化を計るものである。この方法によればある程度の出力平坦化は行えるが、燃料量が減少する分だけ、燃料棒1本当りの出力増大の解決策については考慮されていないものである。

〔発明の目的〕

本発明は、局所出力の増大をともなわずに高燃焼度を達成する原子炉の燃料集合体を提供することにある。

〔発明の概要〕

本発明の基本的構成は、燃料物質を内蔵して複数の燃料棒を集合して原子炉用燃料集合体を構成するものにおいて、中性子高密度領域層へ他層にくらべて小径な燃料棒を一様に配置したことを特徴とした燃料集合体であつて、燃料棒の出力は燃料濃縮度、中性子束の大きさ以外の燃料の体積に依存するという基本的な特性に着目し、局所出力を、中性子束の低い領域は細径燃料、中性子束の高い領域は太径燃料を用いることにより平坦化するものとし、結果として、中性子高領域、低領域別に燃料濃縮度をつける必要が低減され燃焼度を大幅に向上することが可能としたものである。

〔発明の実施例〕

本発明は次に述べる原理を利用している。

即ち、第7図は圧力管型原子炉のカランドリア

管11内の1本の圧力管10の軸方向断面図であり、比較しやすいように、上部には従来の同一径の燃料棒2の配列を、下部には本発明の燃料棒1、2の配列を示すと共に、中央部には従来燃料配列使用時の中性子束分布を点線Bで、本発明の燃料配列採用時の中性子束分布実線Aで示す。

核分裂に寄与する中性子束が高い領域をH、中性子束が低い領域をLとするとそれぞれの領域の燃料棒（単位長さ当り）の出力Pは次式①、②で表わされる。

$$P(H) = N(H) \times \sigma_f(H) \times \phi(H) \times V \quad \cdots \textcircled{1}$$

$$P(L) = N(L) \times \sigma_f(L) \times \phi(L) \times V \quad \cdots \textcircled{2}$$

ここで、P(H)：中性子高領域Hの燃料棒出力
(W/cm)

N(H)：中性子高領域Hの核分裂性物質密度
(個/cm³)

$\sigma_f(H)$ ：中性子高領域Hの核分裂ミクロン断面積
(cm²)

$\phi(H)$ ：中性子高領域Hの中性子束
(中性子/cm²・sec)

いた。すなわち

$$P_f(H) = N_f(H) \times \sigma_{ff}(H) \times \phi_f(H) \times V_f \quad \cdots \cdots \textcircled{3}$$

$$P_f(L) = N_f(L) \times \sigma_{ff}(L) \times \phi_f(L) \times V_f \quad \cdots \cdots \textcircled{4}$$

$$N_f(H) < N_f(L) \quad \cdots \cdots \textcircled{5}$$

$$\phi_f(H) > \phi_f(L) \text{ (第7図に示す。)} \quad \cdots \cdots \textcircled{6}$$

一方、本発明の実施例では高中性子領域、低中性子領域の燃料出力をそれぞれP(H)、P(L)とするとP(H) ≒ P(L)とするために濃縮度Nを変更するのではなくVを変更するものとした。すなわち

$$P(H) = N(H) \times \sigma_f(H) \times \phi(H) \times V(H) \quad \cdots \cdots \textcircled{7}$$

$$P(L) = N(L) \times \sigma_f(L) \times \phi(L) \times V(L) \quad \cdots \cdots \textcircled{8}$$

$$N(H) = N(L) \quad \cdots \cdots \textcircled{9}$$

$$\phi(H) > \phi(L) \text{ (第7図に示す。)} \quad \cdots \cdots \textcircled{10}$$

$$V(H) < V(L) \text{ (第7図に示す。)} \quad \cdots \cdots \textcircled{11}$$

この結果、本発明ではP(H)とP(L)の値

P(L)：中性子低領域Lの燃料棒出力
(W/cm)

N(L)：中性子低領域Lの核分裂性物質密度
(個/cm³)

$\sigma_f(L)$ ：中性子低領域Lの核分裂ミクロン断面積
(cm²)

$\phi(L)$ ：中性子低領域Lの中性子束
(中性子/cm²・sec)

V：燃料体積 (cm³)

また、 $\phi(H) > \phi(L)$ である。

燃料棒の出力は熱特性を緩和するために最大出力が低いことが望ましい。このためには燃料棒出力を平均出力に近づけるように出力ピーキング係数を低減する必要がある。これは①、②式のP(H)、P(L)をできるだけ近づけることが望ましいことを意味する。

従来燃料の高中性子領域、低中性子領域の燃料棒出力をそれぞれP_f(H)、P_f(L)とすると、P_f(H) ≒ P_f(L)とするために中性子束の大きさに応じ濃縮度Nを変更する方法が用いられて

を近づけることができると同時に高中性子領域により多くの核分裂性物質を配置することが可能となり、燃料の大幅な燃焼度向上を計ることが可能となった。

また第7図に示す例における他の効果として第7図に示すように燃料中央部に軽水領域がもうけられるため燃料中央部に減速領域が生まれ燃料集合体全体の中性子束分布を増大させたことがあげられる。この結果も燃焼度を向上させる効果となっている。

次に、より具体的に本発明の各実施例を説明する。

第1図は圧力管型原子炉用燃料における本発明の実施例であり、燃料集合体の径方向断面図である。第1図の燃料は内径が約120mmの圧力管内に装荷する燃料集合体であり表1に示す内容となっており、中央領域には太径燃料棒2が15本、最外周である外層には細径燃料棒2を24本配置する。中央領域の太径燃料棒2は外径が約15.7mmで、内部には外径が約13.6mmの燃料ベレットを装

表 2

燃料層	燃料棒数	燃料ペレット径(mm)	被覆管外径(mm)	核分裂物質重量
内層	6	13	15	3.6wtP ₂ (f ₁)(P.MOS)*
中間層	12	13	15	3.6wtP ₂ (f ₁)(P.MOS)*
外層	18	13	15	1.2wtP ₂ (f ₁)(P.MOS)*
燃料合計	36	—	—	0.7wtP ₂ U+2.4 wtP ₂ (f ₁)

*...天然ウラン酸化物にプルトニウムを混合

第2図は従来の圧力管型原子炉用燃料集合体で36本の同一径の燃料棒12を束ねた構造となっている。また中央部には燃料スペーサで支持するための支持棒8を1本配置している。第1図の本発明の実施例と第2図の従来燃料の特性比較を次の表3に示す。

表 3

燃料		第1図(本発明の実施例)	第2図(従来燃料)
燃料棒径(mm)	内中間層	15.7mm	約15mm
	外層	11.2mm	
集合体当り燃料重量(kg) (有効長3700mmの場合)		約170kg	約170kg
集合体当り核分裂物質重量(kg)	²³⁵ U	約0.8kg	約1.0kg
	P ₂ (f ₁)	約3.8kg	約3.8kg
核分裂性物質重量割合(wt%)	²³⁵ U	約0.62wt%	約0.7wt%
	P ₂ (f ₁)	約2.4wt%	約2.4wt%
達成燃焼度 (MW/t)		約38000 MW/t	約30000 MW/t
局部出力ピーキング係数 (燃焼初期)		約1.08(外層燃料)	約1.13(外層燃料)
最大線出力密度 (W/cm)		約430W/cm	約480W/cm

上表に示すように第1図の本発明の実施例の燃料集合体は従来の燃料と同一プルトニウム富化度でウラン235の重量はやや小さくとも達成燃焼度が約38000MWd/tであり、従来燃料の約30000MWd/t

/tよりも8000MWd/t程度燃焼度を増大できることがわかる。また局所出力ピーキング係数は第1図の実施例では約1.08となる。また最大線出力密度は圧力管本数650本で熱出力1950MWを出す原子炉に両燃料を用いた場合、第2図の従来燃料は最大線出力密度が約480W/cmとなつたのに対し、第1図の本発明の実施例では集合体当りの燃料棒本数が39本に増大したこと、及び前記局所出力ピーキング係数を低減できた効果により約430W/cmへ大幅へ低減することが可能となっている。

次に本発明の他の実施例を第3図と第4図を用いて説明する。

第3図は圧力管型原子炉における本発明の他の実施例の燃料集合体の径方向断面図である。

第3図の燃料は内径が約120mmの圧力管内に装荷する燃料集合体であり、表4に示す内容を用い、燃料棒は内層12本の太径燃料棒2と外層の24本の細径燃料棒1を用いている。

燃料層	燃料棒数	燃料ペレット径 (mm)	被覆管外径 (mm)	重量割合 (wt%)
内層	12	14.2	16.5	$2.8 \text{ wt}\% \text{ } ^{235}\text{U} + 2.8 \text{ wt}\% \text{ } ^{238}\text{U}$
外層	24	10.0	12.0	$2.8 \text{ wt}\% \text{ } ^{235}\text{U} + 2.8 \text{ wt}\% \text{ } ^{238}\text{U}$
燃料合計	36	—	—	$0.7 \text{ wt}\% \text{ } ^{235}\text{U} + 2.8 \text{ wt}\% \text{ } ^{238}\text{U}$

の比較を次の表5に示す。

表 5

燃料		第1図(本発明の実施例)	第2図(従来燃料)
項目	内層	16.5mm	約15mm
	外層	12.0mm	
集合体当り燃料重量(kg) (有効長4000mmの場合)		約155kg	約180kg
集合体当り核 分裂物質重量 (kg)	^{235}U	約0.85kg	約1.1kg
	$\text{P}_2(\text{U}_{10})$	約3.8kg	約3.8kg
核分裂性物質 重量割合(wt%)	^{235}U	約0.7wt%	約0.7wt%
	$\text{P}_2(\text{U}_{10})$	約2.8wt%	約2.4wt%
達成燃焼度 (MW/t)		約41000 MW/t	約30000 MW/t
局所出力ピーキング係数 (燃焼初期)		1.07(内層) 0.85(外層)	約1.13(外層)
最大線出力密度 (W/cm)		約450W/cm(内層)	約490W/cm(外層)
最大熱流束 (W/cm ²)		約109W/cm ² (外層)	約109W/cm ² (外層)

表5に示すように第3図の本発明の実施例の燃

また中央部にはさらに太径の円管4を配置する。これらの燃料棒の被覆管及び中央の円管4はすべてジルコニウム合金製である。内層の12本の太径燃料棒2は外径が約16.5mmで、内部には外径が約14.2mmの燃料ペレットを装荷している。外層の24本の細径燃料棒1は外径が約12mmで、内部には外径が約10mmの燃料ペレットを装荷している。

第3図の燃料物質、冷却材は第1図の実施例と同様である。内層燃料、外層燃料共に第3図の実施例では天然ウラン酸化物燃料に約2.78wt%の核分裂性プルトニウムを酸化物プルトニウムの形で富化した燃料物質を用いている。

第3図の中央の円管4内には冷却材を流すが圧損の少ない管内の流量を小さく抑えている。第3図の燃料の軸方向形状を第4図に示す。第4図に示す中央の円管4の上部、下部に横方向の小穴13、14を流出入口としてもうけて冷却材を通す構造としている。

第3図の本発明の実施例と第2図の従来燃料と

料集合体は従来燃料と集合体当りのウラン235の重量はやや小さく、核分裂性プルトニウムの重量は同一とした場合でも、その達成燃焼度は約41,000MWd/tであり、従来燃料の約30,000MWd/tに比較し、約11,000MWd/t(約37%)燃焼度を向上することができる。従来燃料では電気出力60万kWを生み出す原子力発電所に対して年間当り120体の燃料集合体を交換する必要があつたのに対し、第3図の実施例の燃料を用いる場合は約100体で良い。これは年間当たり20体の燃料集合体を削除でき、これは燃料17%の節約が可能になることを意味する。また局所出力ピーキング係数は第3図の実施例では燃焼初期には内層燃料に発生し、その値は約1.07である。従来の燃料では外層に発生し、その値は約1.13である。この結果最大熱流束は従来燃料では燃焼初期に外層燃料で発生しその値は約109W/cm²であつたのに対し、第3図の本発明の実施例では燃焼初期に外層燃料で発生し細径燃料であるにもかかわらず、その値は約109W/cm²となり従来燃料

と同一とすることができる。また最大線出力密度は従来燃料が外層で発生し約490W/cmであったのに対し、第3図の実施例では内層で発生し約460W/cmとなり約6%低減することができる。

次に本発明の軽水炉燃料への適用例を第5図を用いて説明する。

第5図は本発明を沸騰軽水型原子炉へ適用した時の燃料集合体径方向断面図である。第5図の燃料集合体は最外周の36本の細径燃料棒1、及び内側領域の36本の太径燃料棒2を及び制御棒近接燃料棒5を最も細い燃料棒として3本用いている。細径燃料棒1の外径は約10mmであり、内部には約8.1mmの燃料ペレットを装荷している。14は十字形の制御棒である。太径燃料棒2の外径は約13.2mmであり、内部には約11.3mmの燃料ペレットを装荷している。また3本の最も細径の燃料棒は外径が約9mmであり燃料ペレットは約7.4mmである。第5図では3種類の外径の燃料棒を用いているが熱中性子束の変化割合、及び出力平坦化の必要に応じ外径の種類を増やすことも減らすこ

とも可能である。また従来の沸騰水型原子炉用燃料のように燃料棒の一部を水ロッドとすることも可能である。

第5図の燃料集合体と従来の沸騰軽水型原子炉用燃料との比較を次の表6に示す。

表 6

		第5図(沸騰軽水炉) への本発明の実施例	従来沸騰軽水炉燃料
燃料棒径 (mm)	制御棒近接	約9mm (3本)	約12.5mm
	最外領域	約10mm (33本)	
	内側領域	約13.2mm (36本)	
集合体当たり燃料重量 (kg)		約200kg	約200kg
集合体当たり核分裂物質 重量 ²³⁵ U(kg)		約4.8kg	約4.8kg
²³⁵ U重量割合(wt%)		2.7wt%(同一)	2.7wt%(平均)
²³⁵ U濃縮度種類		1	4
達成燃焼度(MWd/t)		32000MWd/t	28500MWd/t

上表6に示すように第5図の実施例の燃料では、

従来の沸騰軽水炉燃料と同一の燃料重量及び同一のウラン235の重量であるが達成燃焼度が従来燃料では約28500MWd/tであるに対し約32000MWd/tとなり2500MWd/t(10%)燃焼度を向上できることがわかる。

第5図の実施例ではウラン濃縮度は1種であるが出力分布をさらに平坦化するために燃料集合体の径方向あるいは軸方向で濃縮度を変えることも可能である。

次に本発明の加圧軽水型原子炉の燃料への適用例を第6図を用いて説明する。

第6図は加圧軽水型原子炉の燃料へ本発明を適用した時の燃料集合体径方向断面図である。第6図の燃料は17列×17列の加圧水型燃料で最外周の66本及び制御棒周辺の100本は細径燃料棒1とし、他の98本は太径燃料棒2としている。また他に25本の制御棒案内管6を有している。また制御棒案内管6の内部には制御棒7が駆動できる構造となっている。細径燃料棒2の外径は約9.4mmであり、内部には径が約8.0mmの燃料ペ

レットを装荷している。太径燃料棒2の外径は約10.6mmであり、内部には約8.3mmの燃料ペレットを装荷している。

第6図の実施例では従来の加圧軽水炉燃料に比較し燃料集合体内の局所出力を平坦化することができ、最大線出力密度を低減することが可能である。また制御棒周辺の燃料棒を細径としたため、周辺部の線出力密度が低下し、運転中制御棒駆動に対する燃料の健全性を向上できる。

〔発明の効果〕

以上の如く、本発明による原子炉の燃料集合体によれば、局所出力を増大しないままで燃焼度を増大することができるという効果が得られる。

図面の簡単な説明

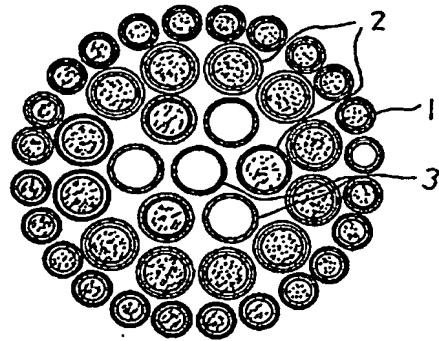
第1図は本発明の実施例の圧力管型原子炉用燃料集合体の径方向断面図、第2図は従来の圧力管型原子炉用燃料径方向断面図、第3図は本発明による他の実施例の圧力管型原子炉用燃料の径方向断面図、第4図は第3図の燃料集合体の軸方向断面図、第5図は本発明による沸騰軽水型原子炉燃

料集合体の実施例の径方向断面図、第8図は本発明による加圧軽水型原子炉燃料集合体の実施例の径方向断面図、第7図は従来例と本発明との各燃料配列における中性子束分布線図である。

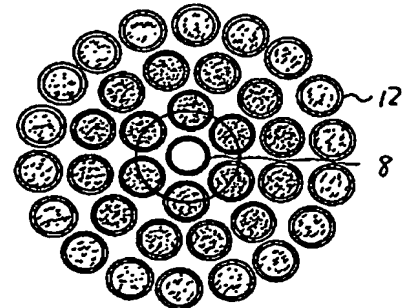
1…細径燃料棒、2…太径燃料棒、3…中心支持棒、4…円管、5…制御棒近接燃料棒、6…制御棒案内管、7、14…制御棒。

代理人 弁理士 小川勝男

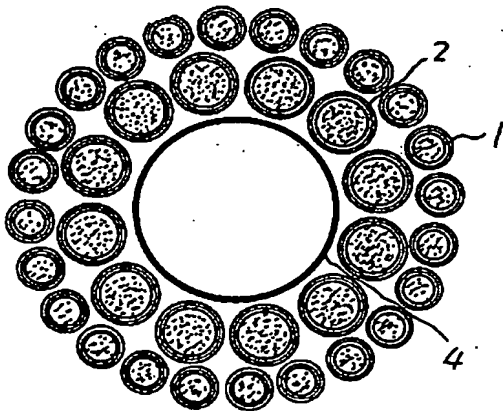
第1図



第2図



第3図



第4図

